18.C

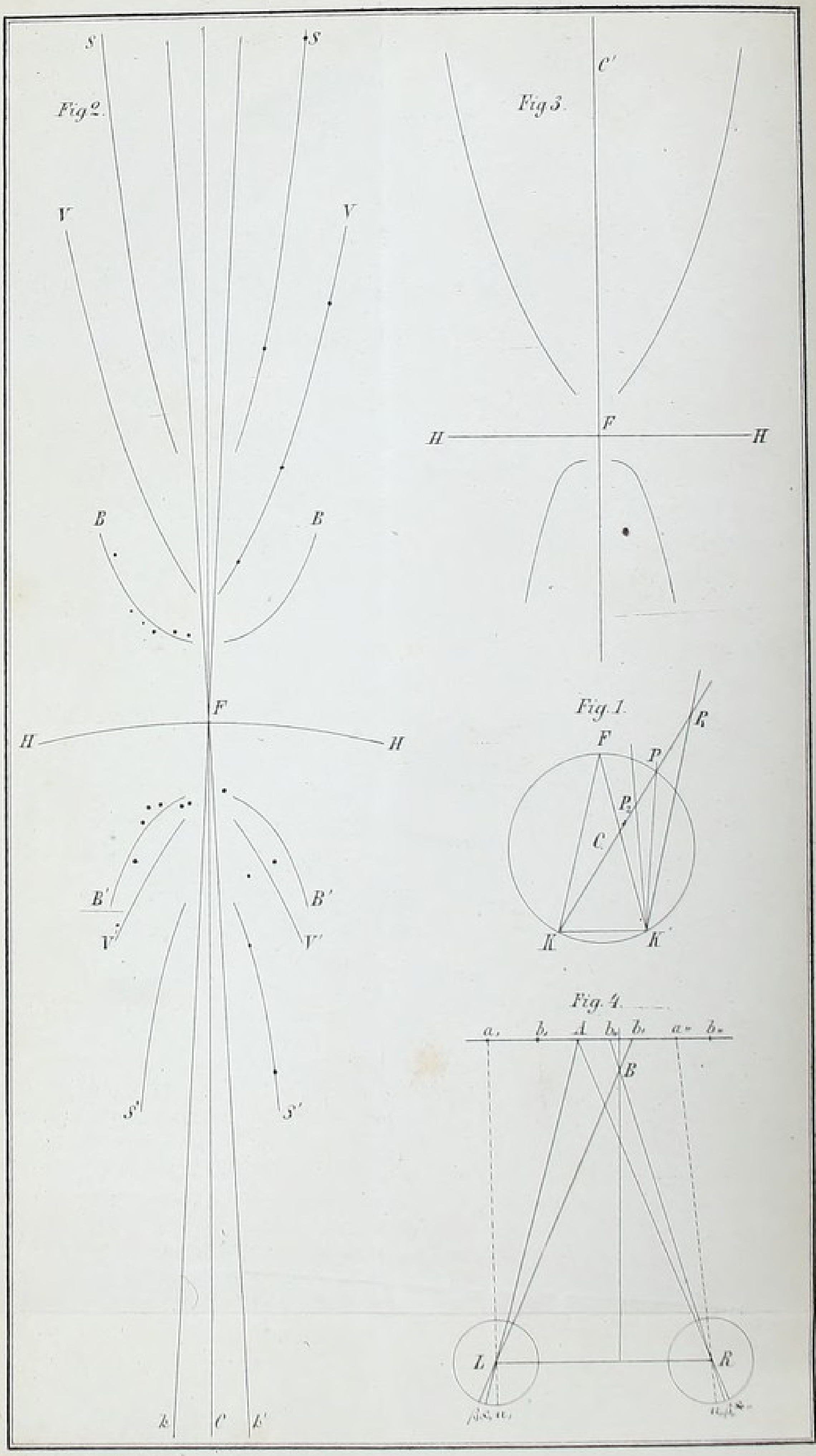
Binoculares Sehen

Wilhelm von Bezold

Zu pag. 237

Tafel V.

zur Abhandlung von **W. v. Bezold**, über binoculares Sehen.



18.

Ueber binoculares Sehen.

Von

Wilhelm von Bezold.[1])

Die folgenden Zeilen enthalten einen Versuch, die Lehre vom Sehen mit zwei Augen unter einen zwar öfters angedeuteten aber niemals mit Consequenz festgehaltenen Gesichtspunkt zu bringen. Es soll nämlich die sogenannte Identität der Netzhäute als eine erworbene Eigenschaft betrachtet, die Gründe, welche für diese Annahme sprechen, eingehend entwickelt, und schliesslich gezeigt werden, dass diess Princip in der weniger schroffen Form, in welcher es aus dieser Anschauung folgt, eine einfache Erklärung der stereoscopischen Wahrnehmung gestattet.

Zur Aufstellung dieser Hypothese wurde der Verfasser durch die Beachtung des Umstandes veranlasst, dass unter den gewöhnlichen Verhältnissen die meisten Gegenstände auf nur wenig differenten Stellen der Netzhäute abgebildet werden, und dass mithin correspondirende Stellen meist gleichzeitig durch gleiche Ursachen gereizt werden.

Dieser Satz muss also vor Allem bewiesen werden. Diess liesse sich dadurch bewerkstelligen, dass man die Lage der irgend einem Objectpunkte auf der Doppelnetzhaut[2]) entsprechenden Bildpunkte

---

[1]) Eine vorläufige Mittheilung findet sich in d. Sitzgsber. d. k. b. Acad. v. J. 1864 S. 372 ff.

[2]) Unter Doppelnetzhaut soll der Inbegriff der beiden Netzhäute verstanden werden, wenn man sich dieselben so aufeinandergelegt denkt, dass identische Punkte zur Deckung kommen. Identische nennt man bekanntlich jene Punkte der Netzhäute, auf welchen bei parallelen Gesichtslinien die Bilder unendlich ferner Punkte entworfen werden. Was die Eintheilung der Netzhaut anlangt, so soll in der Folge immer die von Hering angegebene in Längs- und Querschnitte angewendet werden.

durch eine Funktion der Coordinaten dieses Objectpunktes ausdrückt, und dann diese Formel für möglichst verschiedene Werthe dieser Coordinaten discutirt.

Da es jedoch schwer wäre, durch diese Discussion ein klares Bild von den Verhältnissen zu erlangen, so habe ich es vorgezogen, den umgekehrten Weg einzuschlagen, und die Frage gestellt nach dem Orte sämmtlicher Punkte, welche unter der Annahme, dass die Empfindlichkeit für Doppelbilder keine unbegrenzte, sondern innerhalb mässiger Grenzen eingeschlossen sei, einfach wahrnehmbar sind. Dieser Ort ist offenbar nichts anderes als der sogenannte empirische Horopter, und zwar ein von bestimmten Flächen umschlossener Raum.

Die Gestalt dieser Flächen lässt sich näherungsweise angeben, wenn man die Empfindlichkeit für Doppelbilder an den einzelnen Stellen der Doppelnetzhaut nach einem geeigneten Maasse ausgedrückt, kennt. Ein solches Maass besitzt man aber in den sogenannten Grenzdistanzen, welche man nach dem Vorgange von Volkmann[1]) experimentell bestimmen, und dann in die Rechnung einführen kann.

Auf diese Untersuchung folgt eine Erörterung der Gründe, welche berechtigen, den stets gleichzeitigen Gebrauch correspondirender Stellen als Ursache ihres eigenthümlichen Verhaltens anzusehen.

Ein Versuch, die Tiefenwahrnehmung von dem eingenommenen Standpunkte aus zu erklären, soll das Ganze beschliessen, die Messungen aber, um den Ideengang nicht zu unterbrechen, in einen Anhang verwiesen werden.[2])

I.

Das Horopterproblem kann man bekanntlich auf zweierlei Weise auffassen, je nachdem man unter dem Horopter den Ort aller derjenigen Punkte versteht, welche sich auf genau correspondirenden Netzhautpunkten abbilden, beziehungsweise die Gesammtheit der Punkte, in denen sich correspondirende Richtungslinien schneiden, oder den Inbegriff aller Punkte, welche man bei einer bestimmten Augenstellung binocular einfach wahrnehmen kann.

---

[1]) Archiv f. Ophth. Bd. V. Abth. II. S. 1 ff.

[2]) Dieser Anhang soll im nächsten Hefte erscheinen.

Im ersteren Falle erhält man im Allgemeinen eine Curve, welche man den „mathematischen Horopter" nennt, und mit deren Aufsuchung sich in jüngster Zeit Helmholtz[1]), Hering[2]) und Hankel[3]) beschäftigt haben. Seit den trefflichen Arbeiten Hering's über diesen Gegenstand muss die Frage in diesem Sinne als endgültig entschieden bezeichnet werden.

Anders verhält es sich mit der Lösung des Problems nach der zweiten Auffassung, mit dem sogenannten „empirischen Horopter". Es ist bekannt, dass die Versuche, diesen Ort experimentell zu bestimmen, zu keinem sicheren Resultate geführt haben. Auch ist ein solches bei den ausserordentlichen Schwierigkeiten, mit welchen man hiebei zu kämpfen hat, auf diesem Wege wohl kaum jemals zu erwarten.

Diess veranlasste mich, an die Aufgabe von der schon oben bezeichneten Seite heranzutreten.

Da aber auch die bei dieser Auffassung zu Grunde zu legenden Messungsdaten, die Grenzdistanzen, nicht nur ausserordentlich grosse individuelle Verschiedenheiten zeigen, sondern sogar bei einem und demselben Individuum den allergrössten Schwankungen unterworfen sind, so habe ich von einer allgemeinen Behandlung des Problemes abgestanden, und mich auf einen einfachen Fall beschränkt.

Eine allgemeine Untersuchung der Frage würde nämlich einen im Vergleich mit dem zu erzielenden Resultate unverhältnissmässig grossen Aufwand an mathematischem Apparate erfordern. Während es mir anderseits für die Bildung einer richtigen Vorstellung von der Sachlage, insoferne sie physiologisch wichtig ist, vollkommen hinreichend scheint, die Curven zu betrachten, in denen der empirische Horopter bei horizontaler Blickebene und in der Medianebene gelegenem Fixationspunkte diese beiden Ebenen schneidet.

Um nun den Durchschnitt des empirischen Horopter mit der Blickebene zu erhalten, wählen wir (Tafel 5 Fig. 1) K d. i. den Kreuzungspunkt der Richtungslinien des linken Auges als Ursprung eines Systemes von Polarcoordinaten, dessen Axe die durch den

---

[1]) Arch. f. Ophth. Bd. X u. Pggdff. Ann. Bd. 123 S. 158.

[2]) Beiträge zur Physiologie.

[3]) Pggdff. Ann. Bd. 122 S. 575.

Fixationspunkt F gehende Richtungslinie d. h. die Gesichtslinie dieses Auges ist, und wobei die Winkel, welche durch Drehung im Sinne eines Uhrzeigers beschrieben werden, positiv gerechnet werden sollen.

Auf jeder durch K gezogenen Geraden PK, die etwa mit KF den Winkel α bilden mag, giebt es nun einen Punkt P, dessen Bild genau auf dem correspondirenden Punkte der anderen Netzhaut entworfen wird. Dieser Punkt liegt auf dem Müller'schen Horopterkreise, und die von ihm nach K' d. i. dem Kreuzungspunkte der Richtungslinien im rechten Auge gezogene Gerade bildet alsdann mit der Gesichtslinie $K'F$ dieses Auges ebenfalls den Winkel α. Jedoch nicht nur der Punkt P der Geraden PK wird einfach wahrgenommen, sondern auch noch alle ihm benachbarten, bei welchen die durch sie und K gezogenen Geraden mit PK Winkel einschliessen, welche unterhalb gewisser Grenzwerthe α_1 und α_2 bleiben. Diese beiden Grenzwerthe sind Functionen von α und zwar wird, wenn α_1 den Grenzwinkel auf der positiven, α_2 den auf der negativen Seite von PK bezeichnet, durch α_1 ein Punkt P_1 der äusseren, durch α_2 ein solcher P_2 der inneren Grenzcurve bestimmt. Nennt man nun KP_1 d. i. der Leitstrahl der äusseren Grenzcurve r_1, während man r_2 für KP_2 schreibt, den Radius CP des Horopterkreises aber durch r und den Winkel CFK durch γ bezeichnet, so erhält man die folgenden Gleichungen:

$$PP_1 : PK' = \sin\alpha_1 : \sin(2\gamma - \alpha_1)$$

und mithin

$$PP_1 = PK' \frac{\sin\alpha_1}{\sin(2\gamma - \alpha_1)}$$

Anderseits hat man

$$\begin{aligned} PK' &= 2r\cos(\alpha + \gamma) \\ PK &= 2r\cos(\alpha - \gamma) \\ r_1 &= KP + PP_1 \end{aligned}$$

und mithin nach Ausführung der geeigneten Substitutionen

$$r_1 = 2r\left[\cos(\alpha - \gamma) + \cos(\alpha + \gamma)\frac{\sin\alpha_1}{\sin(2\gamma - \alpha_1)}\right]$$

Berücksichtigt man endlich noch, dass

$$r = \frac{c}{2\sin 2\gamma}$$

wenn c den Abstand KK' der beiden Augen bedeutet, so ergiebt sich für die äussere Begrenzungscurve die Gleichung

$$r_1 = \frac{c}{\sin 2\gamma}\left[\cos(\alpha-\gamma)+\cos(\alpha+\gamma)\,\frac{\sin\alpha_1}{\sin(2\gamma-\alpha_1)}\right] \qquad (1)$$

Für die innere hingegen erhält man durch eine ähnliche Betrachtung

$$r_2 = \frac{c}{\sin 2\gamma}\left[\cos(\alpha-\gamma)-\cos(\alpha+\gamma)\,\frac{\sin\alpha_2}{\sin(2\gamma+\alpha_2)}\right] \qquad (2)$$

Will man diese Gleichungen discutiren, so muss man vor Allem das Verhalten der Grössen α_1 und α_2 als Functionen $\varphi\alpha$ und $\psi\alpha$ von α kennen; denn von diesem Winkel d. h. von der Entfernung der Bildpunkte vom Centrum der Doppelnetzhaut sind ja diese Grössen vorzugsweise abhängig.

Zwischen diesen Functionen finden nun gewisse Beziehungen statt, wie man leicht aus folgender Betrachtung übersieht.

Gesetzt, man biete dem linken Auge ein Strichpaar a' b' dar, dem rechten ein anderes a'' b'', von denen das erstere unter einem Gesichtswinkel α', das zweite unter dem Winkel α'' erscheinen mag; macht man nun den Unterschied zwischen diesen Strichpaaren so gering, dass sie binocular gerade noch als ein einziges wahrgenommen werden, so ist doch der Winkel $\alpha' - \alpha''$ innerer oder äusserer Grenzwinkel, je nachdem man a' b' oder a'' b'' als Grunddistanz betrachtet. Vorausgesetzt nämlich, dass es für die Verschmelzung einerlei sei, ob man die links gelegenen Striche a' und a'' oder die rechts gelegenen b' und b'' fixire. Es ist unerlässlich, diese Fälle als wesentlich verschiedene aufzufassen, da das einemal b' und b'' gekreuzte, das anderemal aber a' und a'' gleichnamige Doppelbilder liefern müssen. Die Versuche machen es nun sehr wahrscheinlich, dass die Empfindlichkeit für Doppelbilder nur von der absoluten Lage der beiden Bildpunkte auf der Doppelnetzhaut, nicht aber davon abhänge, ob man es mit gekreuzten oder gleichnamigen Doppelbildern zu thun habe. Man kann also mit demselben Rechte $\alpha' - \alpha''$ als den zu α' gehörigen inneren Grenzwinkel betrachten, sowie als den zu α'' gehörigen äusseren.

In Form einer Gleichung stellt sich dieser Satz folgendermaassen dar:

$$\psi \alpha = \varphi (\alpha - \psi \alpha)$$

oder

$$\varphi \alpha = \psi (\alpha + \varphi \alpha)$$

Anderseits ist

$$\varphi (-\alpha) = \psi \alpha.$$

Mithin ist die Kenntniss der Function φ für Werthe, welche von $\alpha = -\varphi o$ an nach der positiven Seite zu wachsen, vollkommen hinreichend, um sowohl diese Function für alle negativen, als auch $\psi \alpha$ für beliebige Argumente zu bestimmen.

Experimentell lassen sich nun die Werthe dieser Functionen für die dem Werthe o zunächst benachbarten Argumente nicht auffinden, wenigstens nicht mit Hülfe verschiedener Strichpaare, da man weder die Entfernung der Striche des einen Paares unter gewisse Grenzen herabdrücken, noch mit Sicherheit Punkte fixiren kann, welche zwischen diese Striche zu liegen kommen, ohne diese besonders zu markiren, wodurch jedoch die ganze Beobachtung gestört würde, wie aus vielen der Volkmann'schen Versuche auf's Entschiedenste hervorgeht.

Man ist deshalb nicht im Stande, die Stücken der Grenzcurven, welche den Gesichtslinien zunächst liegen, noch die zwischen denselben befindlichen anders als mit Hülfe von Interpolationen zu bestimmen, die freilich gerade für diese Theile am wenigsten statthaft sind.

Das Wesentliche, was die Versuche über den Gang der Funktionen $\varphi \alpha$ und $\psi \alpha$ lehren, besteht darin, dass sie beide mit wachsendem α ziemlich rasch zunehmen.

Diess vorausgeschickt, ist es leicht, sich von dem Verlaufe der beiden Curven ein Bild zu entwerfen, wobei man überdiess immer nur den auf einer Seite der Medianebene liegenden Theil zu berücksichtigen hat, da der Natur der Sache nach beide Curven aus zwei nach dieser Ebene symmetrischen Zweigen bestehen müssen.

Man hat also bei der Discussion der Gleichung (1) nur Werthe von α in Betracht zu ziehen, welche mit einem Anfangswerthe $-\alpha_0 = -\varphi o$ beginnen und von da im positiven Sinne wachsen.

Hiebei hat man nun zwei Fälle zu unterscheiden, je nachdem φo absolut kleiner, oder gleich oder grösser als γ ist.

Im letzteren Falle nämlich wird r_1 für jeden Werth von α

entweder unendlich gross oder negativ, d. h. es existirt keine äussere Grenzcurve. Ist hingegen γ grösser als α_0, so hängt der Verlauf der Curve in dem der Medianebene benachbarten Stücke zunächst von dem Gange der Function $\varphi\alpha$ ab. Doch sieht man, dass bei einigermaassen kleinem γ ein rasches Wachsen von r_1 zu erwarten ist, da sich alsdann $2\gamma - \alpha_1$ immer mehr der Null nähert. Wird endlich $\alpha_1 = 2\gamma$, was bei kleinen Werthen von γ mit zunehmendem α stets eintreten muss, so wird $r_1 = \infty$, d. h. die Curve nähert sich einer Asymptote, welche durch K gehend mit der Gesichtslinie KF einen Winkel α^* bildet, der sich aus der Gleichung

$$\varphi\alpha^* = 2\gamma \text{ ergiebt.}$$

Für diesen und alle grösseren Werthe von α giebt es also gar keine äussere Grenzcurve mehr, da negative Werthe von r_1, wie sie später aus der Gleichung folgen würden, keine physikalische Bedeutung mehr haben.

Die innere durch die Gleichung (2) dargestellte Curve liegt, wie man leicht sieht, ganz innerhalb des Horopterkreises und zeigt in der Nähe der Medianlinie eine um so stärkere Krümmung, je rascher α_2 mit wachsendem α zunimmt.

Besser als durch diese Discussion wird man sich durch Betrachtung der Figur 2 Tafel 5 eine Vorstellung von der Gestalt der besprochenen Curven bilden können. In dieser Zeichnung ist F der Fixationspunkt, HH ein Stück des Horopterkreises, dessen Mittelpunkt in C liegt, Fk und Fk' sind die beiden Gesichtslinien. Die Entfernung des Fixationspunktes vom Mittelpunkt der Grundlinie ist zehnmal so gross gewählt als die Augendistanz, entspricht mithin ungefähr 640^{mm}. Die Figur ist in $\frac{1}{3}$ der natürlichen Grösse ausgeführt.

Unter dieser Voraussetzung ist B die äussere, B' die innere Grenzcurve, wie man sie aus meinen Messungen erhält. Die der Construction zu Grunde gelegten Zahlen ergaben die Punkte, welche sich auf der linken Hälfte der Figur markirt finden, und zwischen denen dann die Curve nach Gutdünken durchgezogen wurde. V und V' sind die Curven nach den von Volkmann a. a. O. auf S. 38 mitgetheilten Mittelwerthen für seine Augen, S und S' endlich beziehen sich auf die Messungen des Herrn Solger, welche man auf S. 41 derselben Abhandlung findet. Die zur Construction dieser Curven benützten Punkte sind auf der rechten Hälfte der Figur angegeben. Es ist höchst auffallend, wie stark sich der Einfluss der Grenzdistanzen selbst bei so nahe gelegenem Fixationspunkte geltend macht.

Wenden wir uns zur Aufsuchung der Durchschnittscurven des empirischen Horopters mit der Medianebene.

Sei F wieder der Fixationspunkt, f seine Entfernung vom Mittelpunkte M der Grundlinie, M' der Durchschnittspunkt der beiden Queraxen, N irgend ein Punkt der gesuchten Curven, N' seine Projection auf MF, ϱ_1 und ϱ_2 die Entfernung NM, je nachdem der Punkt N der äusseren oder inneren Curve angehört und endlich $FMN = \vartheta$.

Jeder Punkt der Medianebene entwirft nun seine Bilder auf symmetrische Punkte, deren Längsschnitte mit dem mittleren die Winkel ε bilden mögen. Ist η der grösste Werth, den ε annehmen darf, wenn noch einfache Wahrnehmung möglich sein soll, so ist der gesehene Punkt ein Punkt N der Grenzcurve. Ist β der Winkel, welchen die Querschnitte, denen die beiden Bildpunkte angehören, mit der Ebene des mittleren Querschnittes bilden, so ist η eine Function Φ von β.

Diess vorausgeschickt, hat man für die äussere Curve

$$MN' = \frac{c}{2} \cot (\gamma - \eta)$$

was unter Berücksichtigung der Gleichung

$$\varrho_1 = MN' \sec \vartheta$$

die Gleichung $\varrho_1 = \frac{c}{2} \sec \vartheta \cot (\gamma - \eta)$ giebt, während man für

die innere Grenzcurve die Gleichung $\varrho_2 = \frac{c}{2} \sec \vartheta \cot (\gamma + \eta)$ findet.

Da η eine Function von β ist, so ist es wünschenswerth ϑ durch β auszudrücken. Diess ist nun sehr leicht möglich, man darf nämlich innerhalb der Grenzen, innerhalb deren die angestellten Betrachtungen überhaupt von Bedeutung sind, ϑ geradezu durch β ersetzen. Eine höchst einfache Betrachtung zeigt nämlich, dass so lange man MM' gegen MF vernachlässigen darf,

$$\sec \vartheta^2 = \left(1 + \frac{c^2}{4f^2}\right) \sec \beta^2 - \frac{c^2}{4f^2},$$

eine Gleichung, die man bei den sehr kleinen Werthen, die dem $\frac{c^2}{4f^2}$ im Allgemeinen zukommen, geradezu durch $\sec \vartheta = \sec \beta$ ersetzen darf.

Bei der Convergenz der Gesichtslinien z. B., welche den Curven, Fig. 2 und 3, Tafel 5, zu Grunde liegen, ist $\frac{c^2}{4f^2} = \frac{1}{400}$.

Man kann mithin für die äussere und innere Grenzcurve die folgenden Gleichungen aufstellen:

$$\varrho_1 = \frac{c}{2} \sec \beta \cot (\gamma - \eta) \tag{3}$$

und

$$\varrho_2 = \frac{c}{2} \sec \beta \cot (\gamma + \eta). \tag{4}$$

Von dem Verlaufe dieser Curven erhält man ein deutliches Bild, wenn man sich daran erinnert, dass der durch F gehenden vertikalen Horopterlinie die Gleichung $\varrho = \frac{c}{2} \sec \beta \cot \gamma$ zukommt.

Man sieht nämlich, dass beide Curven, wenn γ nur einigermaassen rasch mit β wächst, wie das in Wahrheit der Fall ist, ihre convexen Scheitel dem Fixationspunkte zuwenden, und dass die äussere (3) im Allgemeinen zwei Asymptoten besitzt, welche durch M gehend mit der Horizontalen einen Winkel β^* bilden, welcher sich aus der Gleichung $\Phi \beta^* = \gamma$ ergiebt.

Figur 3, Tafel 5 zeigt die Gestalt dieser Curven, wie ich sie aus meinen Messungen erhalten habe. Sie ist genau unter denselben Voraussetzungen construirt, wie Fig. 2, jedoch der Raumersparniss wegen nur halb so gross, also in $\frac{1}{6}$ der natürlichen Grösse ausgeführt. Es ist demnach $FC' = \frac{1}{2} f$, während in Figur 2 $FC = \frac{1}{2} f$ war. FC' ist der horizontale Durchschnitt der

Median- und Blickebene, FH die verticale Horopterlinie, C' liegt ausserhalb des Fixationspunktes.

Wollte man die Untersuchung über die Gestalt der Grenzflächen des empirischen Horopters allgemeiner führen, so hätte man mit der Schwierigkeit zu kämpfen, dass Bilder von Punkten ausserhalb der beiden bisher betrachteten Ebenen im Allgemeinen nicht mehr auf gleiche Querschnitte fallen. Eine ganz oberflächliche Betrachtung ist jedoch bereits hinreichend, um zu zeigen, dass der Unterschied in der Lage der Bildpunkte in diesem Sinne durchschnittlich nur sehr gering ist, so dass trotz der Abnahme, welche die Grenzdistanzen bei der Annäherung an die Verticale zeigen, zu erwarten ist, dass die Durchschnitte der Grenzflächen mit verticalen der Antlitzfläche parallelen Ebenen ziemlich einfache ovale Curven sein werden.

Besonderes Interesse gewährt die Discussion der Gleichungen für den Fall paralleler Gesichtslinien d. h. wenn $\gamma = o$ wird.

Dann existirt keine äussere Grenzfläche mehr, die Gleichungen (2) und (4) aber gehen in die folgenden über

$$r_2 = c\,[\sin\alpha + \cos\alpha\cot\alpha_2]\,^{1)} \tag{5}$$

und

$$\varrho_2 = \frac{c}{2}\sec\beta\cot\eta. \tag{6}$$

Die Entfernung des Scheitels dieser Curven von M wird gleich $\frac{c}{2}\cot\alpha_0$, wobei α_0 zugleich der Werth ist, den η in der Netzhautgrube annimmt.

Da bei dieser Augenstellung sich alle Punkte auf identischen Querschnitten abbilden, so gilt in diesem Falle die zur Ableitung der Gleichung (2) beziehungsweise der Gleichung (5) für die Blickebene angestellte Betrachtung nun für jede durch KK' gelegte Ebene. Die Gleichung (5) ist mithin für $\gamma = o$ die Gleichung der inneren Grenzfläche, wenn man α_2 nicht nur als Function von α, sondern auch als solche von β auffasst.

---

[1]) Durch einen Irrthum wurde in der obenangeführten vorläufigen Mittheilung der rechten Seite dieser Gleichung der Factor 2 beigefügt.

Den anderen hervorragenden Fall, wo immer $\alpha_1 \geqq 2\gamma$ also auch $\alpha_0 \geqq \gamma$, haben wir schon oben betrachtet, und gesehen, dass es alsdann gar keine äusseren Grenzflächen mehr giebt, sondern alle jenseits, sowie noch eine grosse Menge diesseits des Fixationspunktes gelegenen Punkte einfach wahrgenommen werden.

Fasst man die gewonnenen Resultate zusammen, so sieht man, dass unter den gewöhnlichen Verhältnissen nicht nur die auf dem mathematischen Horopter befindlichen, sondern bei einigermaassen erheblichen Werthen der Grenzdistanzen auch noch eine ungemein grosse Anzahl von Punkten, welche den Horopter umgeben, einfach gesehen wird. Nur zwischen den beiden Gesichtslinien und in dem diese zunächst umgebenden Raume ist Gelegenheit geboten, Doppelbilder wahrzunehmen; eine Thatsache, die schon längst von Vieth[1]) auf dem Wege des Versuches entdeckt wurde.

Bedenkt man nun überdiess, dass alle Punkte mit Ausnahme derjenigen, für welche man gerade accomodirt, Zerstreuungskreise liefern müssen, wodurch die Entfernung der äussersten durch ein und dieselbe Ursache erregten Punkte der Doppelnetzhaut noch verringert wird, und berücksichtigt man ausserdem, dass man nur selten in die Lage kommt, Gegenstände zwischen den beiden Gesichtslinien oder in deren Nachbarschaft zu beobachten, dass man vielmehr jede Gelegenheit hiezu, z. B. das Sehen durch Gitter, fast ängstlich vermeidet, so kommt man zu dem Satze:

Unter den gewöhnlichen Bedingungen des Sehens fallen die Bilder aller Punkte, welche man mit einem Blicke auch nur einigermaassen deutlich sehen kann, auf nahezu identische Stellen und es ist desshalb bei nicht zu grosser Empfindlichkeit für Doppelbilder nur in Ausnahmsfällen Gelegenheit geboten, solche wahrzunehmen.

II.

Das eben gewonnene Resultat bietet eine kräftige Stütze für die Hypothese, dass die sogenannte Identität eine rein erworbene

---

[1]) Gilbert's Ann. Bd. 58 S. 241.

Eigenschaft sei[1]), wenn man überhaupt zugiebt, dass durch fortgesetzten gleichzeitigen Gebrauch zweier gleichartiger Organe zu gleichem Zwecke eine so enge Beziehung zwischen den entsprechenden Nerven eingeleitet werden kann, dass eine getrennte gleichzeitige Benützung geradezu schwierig, wenn nicht unmöglich wird, ein Satz, für den später verschiedene Analogieen angeführt werden sollen.

Doch sprechen ausser dem genannten Umstand noch verschiedene andere Gründe für die gemachte Annahme:

1) Der einem bestimmten Punkte a der einen Netzhaut n correspondirende Punkt a' der anderen n' ist der mittlere Ort der Bilder jener Punkte, deren Bilder auf n im Punkte a entworfen werden. Oder die ein und demselben Objectpunkte zugehörigen Bilder fallen im Mittel auf correspondirende Punkte.

Eines strengen Beweises ist dieser Satz nicht fähig, da selbst wenn man die Wahrscheinlichkeitsrechnung zu Hülfe nehmen würde, man doch über die der Rechnung zu Grunde zu legenden Daten, nämlich über die mittlere Augenstellung und die mittlere Lage der Beobachtungsobjecte mehr oder weniger willkührliche Voraussetzungen machen müsste. Doch wird man sich von der Wahrheit nicht sehr weit entfernen, wenn man eine gerade Nahestellung mit gleichliegenden Mittelschnitten, resp. eine Stellung, wie sie einem in der Medianebene etwa in Augenhöhe gelegenen mässig entfernten Fixationspunkte entspricht, als mittlere annimmt.

Alsdann werden gekreuzte und gleichnamige Doppelbilder von gleicher Oeffnung[2]) gleich wahrscheinlich, und diess ist es eben, was der aufgestellte Satz behauptet.

Sollten bestimmte Augenstellungen und bestimmte Lagen der Beobachtungsgegenstände bei einzelnen Individuen je nach ihrer Beschäftigung so vorherrschend sein, dass die eben angestellte

---

[1]) Vgl. Classen. Das Schlussverfahren des Sehactes. Rostock 1863. S. 65.

[2]) Unter „Oeffnung" eines Doppelbildes soll der Winkel verstanden werden, welchen die vom Centrum des Doppelauges (d. i. der gemeinschaftliche Kreuzungspunkt der Richtungslinien) nach den beiden Bildpunkten auf der Doppelnetzhaut gezogenen Geraden mit einander bilden.

Betrachtung nicht mehr gültig wäre, dass mithin die besagten mittleren Orte nicht mehr mit correspondirenden Punkten im geometrischen Sinne zusammenfielen, so könnte diess zu Assymmetrieen Anlass geben, wie sie von v. Recklingshausen, Helmholtz und anderen beobachtet wurden.

2) Der mittlere Abstand der einem und demselben Objectpunkte auf der Doppelnetzhaut entsprechenden Bildpunkte ist viel grösser in horizontalem als in vertikalem Sinne. Der Beweis dieses Satzes ist so leicht zu führen, dass er hier wohl unterbleiben kann.

Die Erfahrung lehrt, dass die Grenzdistanzen im vertikalen Sinne weit geringer sind, als im horizontalen, mithin sich genau so verhalten, wie es die Hypothese der erworbenen Identität fordern würde.

3) Die Grenzdistanzen erleiden durch fortgesetzte Uebung in der Wahrnehmung von Doppelbildern eine beständige Abnahme, wie durch Volkmann, Hering und meine eigenen Messungen aufs Auffallendste dargethan ist.

Diese Thatsache ist mit der Annahme einer angeborenen Identität, welche auf anatomischen Gründen beruhen sollte, geradezu unvereinbar, während es bei einer erworbenen Eigenschaft ganz selbstverständlich ist, dass eine Thätigkeit, deren Ziel gerade das entgegengesetzte von jener ist, durch welche diese Eigenschaft erworben wurde, sich in diesem Sinne äussern muss.

Die Hauptfrage, welche noch zu erörtern bleibt, ist also nur, ob es überhaupt Analogieen giebt, welche die Herstellung eines so innigen Zusammenhanges durch stets gleichzeitigen Gebrauch zweier Organe unzweideutig darthun. Solche Analogieen existiren, sowohl in der sensitiven als in der motorischen Sphäre.

Von den ersteren mag vor allem angeführt werden, dass wir auch mit den beiden Ohren stets nur einfach hören, obwohl wir uns durch Schliessen oder Oeffnen derselben, sowie durch Drehen des Kopfes, gerade so wie bei den Augen davon überzeugen können, ob wir in einem bestimmten Falle das eine oder andere ausschliesslich oder vorzugsweise benützen. Zur Erklärung dieser Thatsache hat man es meines Wissens nie für nöthig gehalten, besondere Verbindungen zwischen den Gehörsnerven anzunehmen.

Ein anderer Versuch, der mit den Verhältnissen beim doppeläugigen Sehen auffallende Verwandtschaft zeigt, ist der allbekannte mit dem Kügelchen, das zwischen verschränkten Fingern für doppelt gehalten wird.

Auch sonst kann man in Verlegenheit gerathen, seine Stellung zu den Gegenständen, oder die gegenseitige Lage und Grösse derselben zu beurtheilen, wenn man sie mit Stellen berührt, welche gewöhnlich nicht gleichzeitig zu Tastwahrnehmungen dienen. Wer Klavierspielen gelernt hat, dem wird die Verwirrung wohl noch erinnerlich sein, in welche es ihn brachte, als er zum erstenmale mit verschränkten Händen spielen sollte. Auch bei Turnübungen kommen ähnliche Fälle vor.

Aber auch auf dem Gebiete der motorischen Thätigkeit fehlt es nicht an Beispielen dafür, dass stets gleichzeitiger und gleichartiger Gebrauch zweier entsprechenden Organe schliesslich eine so enge Beziehung zwischen denselben hervorruft, dass man sie schwer getrennt benützen kann. So müssen z. B. die meisten es erst erlernen, nach Belieben das eine oder andere Auge zu schliessen und zu öffnen, oder gar die Augen unabhängig von einander zu bewegen. Zwischen Accomodation und Convergenz der Gesichtslinien besteht eine Wechselbeziehung, die sogenannte relative Accomodation, deren Grund wohl nur in der Gewohnheit zu suchen ist. Auch dem Anfänger im Klavierspiele macht es viele Mühe, seine beiden Hände unabhängig von einander bewegen zu lernen und mit der einen Hand grössere, mit der anderen kleinere Tacttheile zu spielen u. s. w.

Zur Erklärung dieser Thatsachen hat man es nirgends für nöthig gehalten, nach besonderen anatomischen Gründen zu suchen; sollte bei den Augen, die im gewöhnlichen Leben fast immer gleichzeitig gebraucht werden, dieser Umstand nicht hinreichen, um jenen Zusammenhang zu erklären, dessen Ausdruck das Identitätsprincip ist?

Schliesslich möge noch bemerkt werden, dass vielleicht auch die sogenannte Incongruenz der Netzhäute, wenigstens die erste von A. Gräfe[1]) angeführte Classe, welche besonders bei inveterirtem Schielen beobachtet wird, durch die Annahme der erworbenen Identität eine ungezwungene Erklärung finden dürfte. Freilich ist hiebei niemals zu vergessen, dass es immerhin auch zwei anatomisch correspondirende Punkte giebt, nämlich die des centralen Sehens. Da mir als Physiker alle eigenen Erfahrungen über diesen Gegenstand fehlen, so begnüge ich mich mit dieser Andeutung.

Kurz zusammengefasst kommt man zu dem Resultate, dass verschiedene Gründe eine erworbene Identität höchst wahrscheinlich machen, während die ältere anatomische Hypothese einerseits verschiedene Thatsachen nur schwer erklären könnte, anderseits aber jeglicher Analogie entbehrt, da das ganze Thierreich zwar allenthalben symmetrische, nirgends aber congruente gleichsinnig gelagerte Organismen zeigt.

III.

Nach Darlegung der Gründe, welche für eine erworbene Identität sprechen, erübrigt noch, zu untersuchen, ob die entwickelte Anschauung mit der merkwürdigsten Erscheinung auf diesem Gebiete, mit der Fähigkeit körperlich zu sehen, in Einklang zu bringen sei. Die Erörterung dieses Punktes ist um so dringender geboten, als man der Identitätslehre überhaupt den Vorwurf machte, diese Thatsache nicht erklärt zu haben, noch erklären zu können. Ich selbst muss in diesem Punkte, insoferne es sich darum handelt, ob eine solche Erklärung bereits geliefert sei, den Gegnern der Identitätslehre beistimmen, sogar noch nach dem Erscheinen des 5. Heftes von Hering's Beiträgen, dem ich in diesem Punkte nicht beipflichten kann.

Doch mag es gestattet sein, vorerst zu untersuchen, ob denn von gegnerischer Seite diese Frage mit mehr Glück behandelt wurde?

Was nun diess betrifft, so sind ein paar Versuche und kurze Betrachtungen hinreichend, um zu zeigen, dass die Projectionstheorie weder von den Doppelbildern, noch von der doppeläugigen Tiefenwahrnehmung Rechenschaft geben kann. Wenn ich trotz Hering's

---

[1]) Die Motilitätsstörungen u. s. w. S. 234.

eingehender Kritik dieser Lehre hier doch noch diesen Punkt in Kürze berühre, so wird diess hoffentlich in dem dadurch zu erzielenden Ueberblick über den ganzen Stand der Sache Entschuldigung finden.

Für's Erste steht die Erscheinung der Doppelbilder mit der Grundanschauung der Projectionslehre in eigentlichem Widerspruche, und es kann die Erklärung derselben nur durch eine Hülfshypothese ermöglicht werden; während nämlich unter den gewöhnlichen Umständen ein Punkt dahin verlegt werden soll, wo sich die beiden zu seinen Bildpunkten gehörigen Richtungslinien schneiden, d. h. wo er wirklich liegt, so soll unter anderen Umständen seine scheinbare Lage durch die Durchschnitte dieser Linien mit zwei ziemlich willkürlich gewählten Flächen bestimmt werden.

Abgesehen von den theoretischen Bedenken, welche diese Hülfshypothese einflössen muss, lässt sich auch experimentell ihre völlige Unhaltbarkeit nachweisen. Denn erstens giebt über den Ort, an welchem wir Gegenstände zu erblicken glauben, ihre scheinbare Grösse den besten Aufschluss, was bekanntlich bei Nachbildern am auffallendsten hervortritt, und diese scheinbare Grösse der Doppelbilder stimmt durchaus nicht mit jener überein, welche man nach der Nagel'schen Hypothese erwarten sollte [1]). Diesen Widerspruch hat Nagel selbst wohl gefühlt, und er sagt deshalb nach einer hierauf bezüglichen Betrachtung auf S. 22: „Um diesem Dilemma aus dem Wege zu gehen, ändern wir die Vorstellung von der Stellung der Augen und nehmen an, sie stehen convergent u. s. w.“

Diess ist, wie leicht ersichtlich, eine neue Hülfshypothese, die noch dazu dem Wesen der Projectionslehre, welches ja gerade darin besteht, dass man mittelst des sogenannten Muskelgefühles, d. h. vermittelst der Kenntniss der Augenstellung über die Lage der Richtungslinien unterrichtet sei, völlig fremd ist. Die ganze a. a. O. durchgeführte Betrachtung ist streng genommen die folgende: Wenn wir unseren Fixationspunkt in grössere Entfernung bringen als die eines in der Medianebene befindlichen Objectes, so sehen wir Doppelbilder, weil wir die beiden Netzhautbilder auf die durch den Fixations-

[1]) Das Sehen mit zwei Augen. Leipzig 1861.

punkt gelegten Projectionssphären projiciren, da das hiebei erzielte Resultat uns aber zu unwahrscheinlich vorkommt, nämlich der Gegenstand zu gross erscheinen würde, so verlegen wir die „Doppelbilder" wieder ungefähr in die wahre Entfernung des Objectes, kurz, wir projiciren eben nicht auf die Projectionssphären. (!!) So verstehe wenigstens ich den ganzen Passus, und ich glaube nicht, dass man mir vorwerfen kann, einen falschen Sinn untergeschoben zu haben.

Auf das Alleraugenfälligste bemerkt man diese Widersprüche auch bei Versuchen mit Nachbildern. Dort giebt die scheinbare Grösse unmittelbaren Aufschluss über die Entfernung, in welche wir, um diesen Ausdruck zu gebrauchen, projiciren. War das Nachbild durch doppeläugige Fixation erhalten, so müsste es nun jederzeit in zwei zerfallen, so oft man es bei beliebiger geänderter Stellung der Augen nicht in die Entfernung des neuen Fixationspunktes verlegt. Dass aber ein auf correspondirenden Stellen erzeugtes Nachbild immer einfach bleibt, hat schon Hering auf S. 150 bewiesen. Ja sogar mechanische Verschiebung des einen Bulbus vermag ein solches Nachbild niemals in zwei zu zerfällen. Diese wenigen Worte und Versuche werden wohl hinreichen, um die vollständige Unbrauchbarkeit der Projectionslehre zur Erklärung der Doppelbilder darzuthun. Ebenso ungeeignet aber als hiefür erweist sie sich für die Erklärung der stereoscopischen Erscheinungen.

Die Projectionslehre ist zwar im Stande, die Tiefenwahrnehmung unter den gewöhnlichen Umständen zu erklären, vorausgesetzt nämlich, dass man uns die Fähigkeit zuschreibt, unbewusst geometrische Constructionen auszuführen und unsere Augenstellung genau zu beurtheilen. Aber das Resultat dieser Constructionen ist eben alsdann vorzugsweise von dem Convergenzwinkel der Gesichtslinien abhängig und müsste ein ganz anderes werden, wenn man bei genau denselben Netzhautbildern diesen Winkel änderte, wovon man sich durch den blossen Anblick der umstehenden Figur (Fig. 1 a) sofort überzeugen kann. Es müsste also die absolute Entfernung zwei zu verschmelzender Stereoscopbilder auf das Resultat der Verschmelzung den grössten Einfluss äussern; es müsste dieses ganz verschieden sein, je nachdem man mit Anwendung eines Instrumentes oder mit freien Augen stereoscopirt. Ja man müsste im letzteren Falle, wenn man die Projectionslehre consequent anwenden will, sogar bei den meisten käuflichen Stereoscopen das Vergnügen haben, die Gegen-

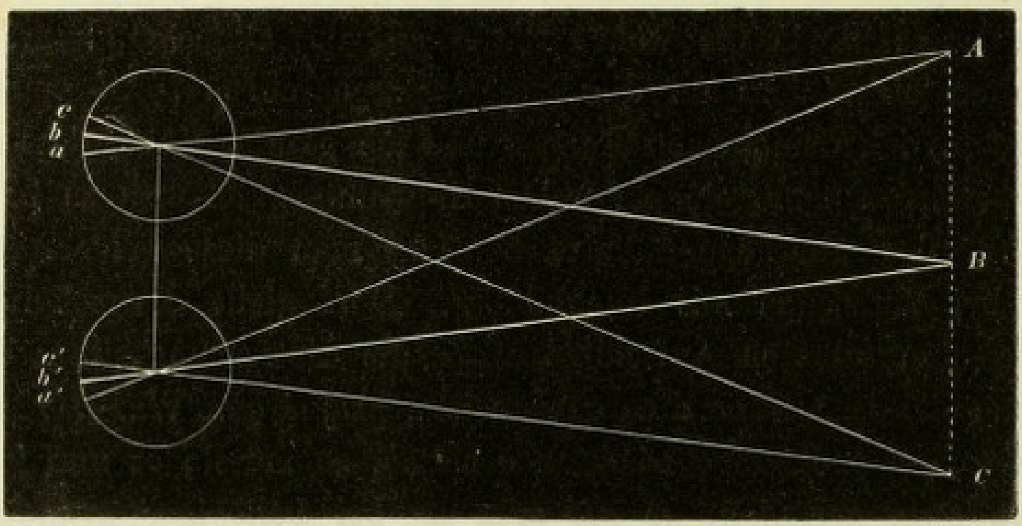
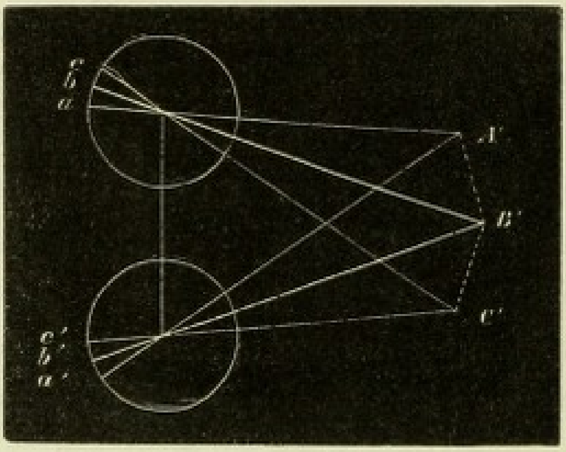


Fig. 1 a.



stände hinter sich zu erblicken, da die Entfernung der entsprechenden Punkte dieser Bilder die mittlere Augendistanz meist nicht unbeträchtlich übersteigt. Bekanntlich verhalten sich die Dinge in Wahrheit ganz anders; für die Betrachtung von stereoscopischen Bildern ist es von sehr geringem oder keinem Belange, ob man sich eines Instrumentes bedient oder nicht, und ob man schwächere oder stärkere Prismen anwendet.

Nagel sucht diese Widersprüche dadurch zu heben, dass er wieder ähnlich wie oben durch den Verstand das Muskelgefühl corrigiren lässt. Er spricht von einer „Alienation" des Muskelgefühles, und diese verwerthet er mit grosser Freiheit: Um diess zu beweisen, sehe ich mich genöthigt, die Figur 10 seiner Schrift

(Tafel 5 Fig. 4), sowie einige darauf bezügliche Worte zu reproduciren.

Die gestellte Aufgabe ist, die stereoscopische Verschmelzung zweier Punktpaare zu erklären, von denen das weitere links, das engere rechts liegt. S. 25 unten heisst es: „Die Erklärung dieses Versuches geht aus den früheren Betrachtungen unmittelbar hervor. L und R seien die Augen, $a_{,}\,b_{,,}$ die Ebene des Papiers im Durchschnitt, $a_{,}\,b_{,}$ und $a_{,,}\,b_{,,}$ die verschieden distanten Punktpaare in dieser Ebene. Wie bei dem eben besprochenen Versuch mit zwei Stäbchen nähern sich beim Uebergange in die parallele Augenstellung die Punktpaare und gehen in der Mittellinie in einander über. $a_{,}$ und $a_{,,}$ vereinigen sich zu A, d. h. die Visirlinien der Netzhautbilder $\alpha_{,}$ und $\alpha_{,,}$ schneiden sich in dem Punkte A u. s. w.“

Diess ist geradezu irrig, denn $\alpha_{,}$ und $\alpha_{,,}$ sind nicht die Netzhautbilder von $a_{,}$ und $a_{,,}$, sondern diese liegen in $\mathfrak{a}_{,}$ und $\mathfrak{a}_{,,}$ und die ihnen entsprechenden Richtungslinien schneiden sich in einem Punkte, welcher in der von Nagel angegebenen Figur hinter die Augen zu liegen käme. Ich kann diess nur unter der Voraussetzung verstehen, dass Nagel das Muskelgefühl gerade um so viel alienirt annimmt, dass wir die Visirlinie (Richtungslinie) $a_{,}\,\mathfrak{a}_{,}$ nach $A\,\alpha_{,}$ verlegt wähnen.

Wenn man also selbst zugeben wollte, dass durch diese „Alienation“, die übrigens einen ganz bestimmten Betrag haben muss, wenn nicht die sonderbarsten Sammelbilder erzielt werden sollen, diese Thatsache mit der Projectionslehre in Einklang gebracht werden kann, so wird doch niemand leugnen, dass durch Hereinziehen dieses neuen Elementes der Willkür Thür und Thor geöffnet ist.

Von Seite der Vertreter der Identitätslehre wurden, abgesehen von der gänzlich widergelegten Annahme Brücke's, nur zwei eingehendere Versuche gemacht, die Tiefenwahrnehmung zu erklären. Einmal von Volkmann[1]), dem ich im Ganzen am meisten beistimme, dessen Erklärung aber doch wohl ein Bischen zu sehr auf dem psychologischen Gebiete sich bewegt, und dann von Hering,

---

[1]) A. a. O.

dessen Meinungen über diesen Punkt mir, wie schon oben erwähnt, ziemlich hypothetischer Natur zu sein scheinen.

Dieser Ausspruch bedarf einer Rechtfertigung.

Hering erklärt die Tiefenwahrnehmung, indem er neben dem Identitätsprincip, welches er (S. 295) in die Sätze 1 und 2 auflöst, noch ein anderes Prinzip aufstellt, welches er als dritten Satz folgendermaassen ausspricht:

„Gegenpunkte (symmetrische Punkte) haben identische Sehtiefe."

Um diesen Satz anwenden zu können, bedarf man noch eines Hülfsatzes, der darin besteht, „dass alle auf Deckstellen abgebildeten Linien oder Punkte auf einer durch den scheinbaren Ort des Fixationspunktes gehenden, senkrecht zur Blickebene stehenden Ebene erscheinen, sofern alle anderen Motive zur Localisirung nach der dritten Dimension ausgeschlossen sind und allein die rein primitiven Raumgefühle in Wirksamkeit treten." (S. 293.)

Diese Ebene nennt Hering die Kernfläche und giebt den auf ihr erscheinenden Punkten den Tiefenwerth 0. Da die meisten Punkte sich nicht auf symmetrischen Netzhautpunkten abbilden, so kommt ihnen für die beiden Augen ein verschiedener Tiefenwerth zu; den resultirenden Tiefenwerth findet Hering, indem er das arithmetische Mittel aus beiden zieht. (S. 294 u. 306.)

Dieser Satz von den angeborenen „Tiefengefühlen", beziehungsweise von den Tiefenwerthen der Netzhautpunkte, ist nun eine reine Hypothese, für welche mir wenigstens der Verfasser durchaus keine genügenden Beweise beigebracht zu haben scheint.

Denn gesetzt auch, seine Beobachtungen über die Existenz der Kernfläche seien richtig, was bei den entgegenstehenden Beobachtungen von Helmholtz noch in Zweifel gezogen werden muss[1]), so bildet diess noch durchaus keinen Beweis für den Satz von den Tiefenwerthen. Denn ein solcher schlösse wieder das hypothetische Mittelziehen in sich, eine Operation, die wohl mit der unbewussten Construction der Richtungslinien auf ganz gleicher Stufe steht.

---

[1]) Mir selbst fehlte bisher leider die Zeit zu einer Wiederholung dieser Versuche.

Ich unterlasse es, weiter auf eine Kritik dieses Punktes einzugehen, da ich glaube, dass sich zwischen meinen eigenen Ansichten und dem Grundgedanken, der sich durch Hering's Lehre von der Tiefenwahrnehmung zieht, unschwer eine Versöhnung werde finden lassen.

Ehe ich jedoch meine eigene Anschauung entwickle, halte ich es für nöthig, ganz präcise festzustellen, was in der Folge unter Empfindung, Wahrnehmung und Vorstellung verstanden werden soll, da in den bisher erschienenen Arbeiten über diese Fragen gerade diese Worte in dem verschiedensten Sinne gebraucht und dadurch viele Missverständnisse hervorgerufen wurden.[1])

Empfindung ist der Eindruck, den die Reizung irgend eines sensitiven Nerven auf das Centralorgan (Sensorium) hervorbringt. Einfache Empfindung die durch den kleinsten für sich wirkungsfähigen Theil eines solchen Nerven (Nervenprimitivfaser) vermittelte.

Vorstellung ist der Inbegriff von Eigenschaften (Ursachen bestimmter Empfindungen), den man in Gedanken einem Dinge beilegt, als das Wesen eines Dinges ausmachend ansieht.

Wahrnehmung endlich ist die unmittelbare Verbindung einer oder einer Summe von Empfindungen mit bestimmten Vorstellungen.

Einige Beispiele werden diese Definitionen erläutern:

Die Reizung jedes kleinsten intergrirenden d. h. für sich allein reizungsfähigen Netzhautelementes (Stäbchens) bringt eine Lichtempfindung hervor, an der man Intensität und Farbe unterscheiden kann. Der Anblick der Mondscheibe z. B. erregt so viele einfache Empfindungen, als Stäbchen von dem Bilde derselben getroffen werden. Verbindet man mit dieser Summe von Erscheinungen sofort die Vorstellung der Zusammengehörigkeit, so macht man die Wahrnehmung eines leuchtenden Körpers oder einer leuchtenden Fläche. Dadurch, dass man sich die Gestalt dieser Fläche an verschiedenen Tagen einprägte, und diese verschiedenen Wahrnehmungen zum Gegenstande des Nachdenkens machte, gelangte man dazu, sich den Mond als eine undurchsichtige Kugel vorzustellen. Der Astronom, der sich mit dieser Vorstellung sehr vertraut gemacht, und dem

[1]) Vgl. Cornelius. Zur Theorie des Sehens. Halle 1864.

überdiess Erfahrungen über die perspectivischen Verkürzungen zur Seite stehen, wird sogar den Mond durch sein Fernrohr unmittelbar als Kugel wahrnehmen können.

Der Vorgang, durch welchen man allmälig dazu gelangt, Wahrnehmungen zu machen d. h. unmittelbar mit der sinnlichen Empfindung Vorstellungen zu verbinden, ist leicht zu überblicken. Den meisten Dingen begegnen wir sehr häufig, empfangen also immer und immer wieder dieselben Summen von Empfindungen. Endlich fassen wir diese mit Hülfe des Gedächtnisses als ein nothwendig zusammengehöriges Ganzes auf, wir bilden uns eine Vorstellung von dem Dinge und verbinden diese schliesslich ohne weiteres Nachdenken unmittelbar mit der Empfindungssumme zu einer Wahrnehmung. Wir nehmen die Dinge wahr.

Empfindungen können gedacht werden ohne Vorstellungen, Vorstellungen ohne gleichzeitige darauf bezügliche Empfindungen, die Erinnerung genügt, Wahrnehmungen hingegen fordern immer eine unmittelbare Verbindung von beiden.

Man darf also beim stereoscopischen Sehen durchaus nicht sagen, dass in uns blos die „Vorstellung“ von Körpern erweckt werde, hiezu genügen gewöhnliche lineare Zeichnungen auch, sondern man nimmt geradezu mit zwingender Nothwendigkeit Körper wahr.

Ebensowenig ist es aber gestattet, von einer „Empfindung der Tiefe“ zu sprechen; denn die Wahrnehmung der Körper fordert unbedingt das Vorhandensein der Raumvorstellung, während Empfindungen doch offenbar nicht von dem Vorhandensein von Vorstellungen abhängig sein können.

Die „Tiefenwahrnehmung“ setzt bereits eine Bildung des Centralorganes voraus, wie sie im betrachteten Falle vorzugsweise durch den Tastsinn erlangt wird.

Diess mag genügen, um einerseits meinen Sprachgebrauch zu rechtfertigen und festzustellen, anderseits aber die Verwirrung zu erklären, welche die Einführung eines „Tiefengefühles,“ einer „Tiefenempfindung“ oder gar der „Empfindung der binocularen Parallaxe“ hervorrufen musste.

Nach diesen Vorbereitungen kann ich meine Ansicht über das Zustandekommen der körperlichen Wahrnehmung in wenigen Worten darlegen.

Fixirt man irgend einen Punkt, so bilden sich nur die auf dem Totalhoropter gelegenen Objectpunkte auf genau identischen Punkten der Netzhäute ab, alle anderen Punkte liefern Doppelbilder, und zwar gleichnamige, wenn sie ausserhalb, gekreuzte, wenn sie innerhalb des Längshoropters liegen. Dass die beiden Bilder überdiess im Allgemeinen nicht auf gleiche Querschnitte fallen und auch dort ein ähnliches Umspringen wie von gekreuzten zu ungekreuzten Doppelbildern eintritt, wenn der Punkt den Querhoropter passirt, ist bekannt. Diese Doppelbilder werden aber nur als solche wahrgenommen, wenn ihre Entfernung auf der Doppelnetzhaut gewisse Grenzen übersteigt, die von der Lage dieser Punkte auf derselben abhängig sind.

Die einzige Annahme, welche man nun zur Erklärung der Tiefenwahrnehmung nöthig hat, ist, d a s s d e r E i n d r u c k, d e n d i e R e i z u n g z w e i e r b e n a c h b a r t e r S t e l l e n d e r D o p p e l n e t z h a u t h e r v o r b r i n g t, a u c h d a n n, w e n n d i e d a d u r c h v e r m i t t e l t e W a h r n e h m u n g e i n e e i n f a c h e i s t, v o n d e r g e g e n s e i t i g e n L a g e u n d E n t f e r n u n g d e r b e i d e n B i l d p u n k t e a b h ä n g i g s e i, d. h. dass der Eindruck ein verschiedener, je nachdem das (verschmolzene) Doppelbild ein gekreuztes oder ungekreuztes mit grösserer oder geringerer Oeffnung ist.

Die Erfahrung ist alsdann vollkommen hinreichend, um die Tiefenwahrnehmung zu erklären. Da nämlich alle Punkte, welche in grösserer Entfernung liegen (ausser bei parallelen Gesichtslinien) immer gleichnamige, näher gelegene Punkte, aber jederzeit gekreuzte Doppelbilder hervorbringen, so muss man endlich, nachdem man sich mit Hülfe des Tastsinnes die Vorstellung von nah und fern gebildet hat, dazu kommen, mit dem Eindruck eines gekreuzten aber sehr wenig geöffneten, also verschmelzbaren Doppelbildes unmittelbar die Vorstellung eines nahen, mit dem eines gleichnamigen, die eines fernen Gegenstandes zu verbinden, d. h. solche wahrzunehmen.

Linien, welche sich vom Längshoropter nach aussen entfernen, liefern allmälig immer weiter geöffnete gleichnamige Doppelbilder u. s. w. Auch die Eigenthümlichkeit dieser Eindrücke kann sich nach wiederholten Erfahrungen allmälig dem Gedächtniss einprägen und dann zu directen Wahrnehmungen Anlass geben.

Was die absolute Localisation der gesehenen Gegenstände betrifft, so würde sie, wenn sie allein mit Hülfe der eben entwickelten Momente zu Stande kommen sollte, eine genaue Kenntniss der Lage des Fixationspunktes und der Gestalt des Längshoropters voraussetzen. Bekanntlich fehlt eine solche; wir sind nicht im Stande, die Lage des Fixationspunktes ohne andere Hülfsmittel anzugeben und localisiren nach Hering den Längshoropter falsch.

Hiezu bedarf es also noch anderer Momente, diese liegen aber genügend in den Erfahrungen über die bekannte Gestalt der Gegenstände und über die Perspective. Fehlen solche, so wird auch die Localisation falsch, oder die körperliche Wahrnehmung ist nicht mehr zwingend und eindeutig, sondern mehrdeutig. Im letzten Hefte dieser Zeitschrift wurden auf S. 190 ff. mehrere solche Beispiele angeführt.

Für die Tiefenwahrnehmung im Allgemeinen genügt es, wenn der unmittelbare Eindruck über näher und ferner, mehr oder weniger belehrt. Würde man alsdann falsch localisiren, so käme man in Widerspruch mit der Perspective, man sähe Zerrbilder.

Diese Betrachtungen erklären sofort die Wirkung des Stereoscopes, sowie die geringe Rolle, welche dabei die Convergenz der Augenaxen spielt. Auch versteht man leicht, weshalb die stereoscopisch gesehenen Bilder doch nie in ihrer wahren Grösse, sondern mehr wie Modelle erscheinen. Da nämlich die Stereoscopbilder durchschnittlich auf Standlinien aufgenommen werden, welche die Augendistanz beträchtlich übertreffen, so zeigen die beiden Bilder so starke Verschiedenheiten, wie wir sie nur bei sehr nahen Gegenständen zu bemerken gewohnt sind; wir erblicken daher die Gegenstände im Stereoscop meist ziemlich nahe und halten sie deshalb bei dem gleichen Gesichtswinkel für kleiner[1]).

Ganz ohne Einfluss ist aber die Convergenz der Augenaxen doch nicht, wenigstens nicht in allen Fällen, wie der bekannte Tapetenversuch beweist, oder der andere, wo zwei bewegliche Linien,

---

[1]) Vgl. Helmholtz. Das Telestereoscop. Pggdff. Ann. Bd. 102. S. 168.

von denen jede einem Auge dargeboten wird, sich zu einem Sammelbilde vereinigen, welches sich dem Beobachter zu nähern oder sich von ihm zu entfernen scheint, je nachdem der Abstand der beiden Linien sich verkleinert oder vergrössert. Man kann diese Thatsachen jedoch durchaus nicht als Beweise für die Existenz sogenannter Muskelgefühle ansehen, sondern nur dafür, dass wir von der Stellung der Augen, sei es auch nur durch die Stärke des Willensactes, welcher erforderlich ist, um dieselben in der einen oder anderen Stellung festzuhalten oder in dieselbe zu bringen, einigermaassen Kenntniss haben. Keinenfalls aber berechtigen sie, diesen sogenannten Muskelgefühlen eine so bedeutende Rolle zu übertragen, wie es von mancher Seite her geschehen ist.

Diese Betrachtungen scheinen mir genügend, um sich von dem Zustandekommen der stereoscopischen Wahrnehmung wenigstens im Grossen und Ganzen eine ziemlich klare Vorstellung zu bilden.

Ob die entwickelten Anschauungen den Namen einer eigentlichen Erklärung verdienen oder nur den einer Umschreibung der Thatsachen, müssen Andere entscheiden. Jedenfalls glaube ich die Erscheinungen unter einen Gesichtspunkt gebracht zu haben; inwieferne aber Erklärungen im physikalischen Sinne auf einem Gebiete, das so nahe an die Psychologie heranstreift, überhaupt möglich seien, muss die Zukunft lehren. Eine schärfere mathematische Fassung wurde bei den Betrachtungen über das Zustandekommen der körperlichen Wahrnehmung absichtlich vermieden, da bei diesen Fragen, die messender Prüfung doch nur sehr schwer oder theilweise zugänglich sind, die Gefahr nahe lag, den Sätzen ein anspruchvolleres Ansehen zu geben, ohne deshalb in Wahrheit an Strenge zu gewinnen. Eine verfrühte Anwendung der Mathematik führt leicht zu einem Missbrauche, der die sonst sprüchwörtliche mathematische Strenge zu einer reinen Illusion macht, wofür es in der neueren Physiologie nicht an Beispielen fehlt.

Kurz gefasst wurden folgende Sätze gewonnen:

1) Unter den gewöhnlichen Umständen werden die Bilder der meisten zu gleicher Zeit deutlich sichtbaren Gegenstände auf nahezu identischen Stellen entworfen.

2) Dieser fortgesetzt gleichzeitige Gebrauch zu gleichem Zwecke berechtigt, das eigenthümliche Verhalten der sogenannt identischen Punkte als ein erworbenes zu betrachten. Eine Anschauung, die noch durch verschiedene andere Gründe unterstützt wird.

3) Von diesem Gesichtspunkte aus bietet auch die Erklärung der doppeläugigen Tiefenwahrnehmung keine Schwierigkeit, wenn man nur zugiebt, dass der Eindruck, den ein zu einer Wahrnehmung verschmolzenes Doppelbild macht, verschieden sei, je nachdem es gekreuzt oder gleichnamig und mehr oder weniger geöffnet ist.